

УДК 681.324

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИИ АДАПТИВНЫХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМИ ПОТОКАМИ

А. Климович, В. Шуть

*Брестский государственный технический университет,
ул. Московская 267, г. Брест, 224017, Беларусь
lucking@mail.ru*

В статье анализируются тенденции развития адаптивных методов управления транспортными потоками. Выполнен обзор наиболее перспективных направлений в сфере интеллектуальных транспортных систем, таких как высокоскоростное беспроводное взаимодействие автомобилей друг с другом и с дорожной инфраструктурой, прогнозирование заторов с помощью машинного обучения, правил нечеткой логики и генетических алгоритмов, внедрение систем содействия водителю для повышения автономности транспортных средств. Приведены преимущества, предоставляемые этими технологиями, для повышения безопасности, эффективности и удобства использования транспорта. Описан мультиагентный подход и представлен ряд алгоритмов, использующих его для создания нового поколения адаптивных транспортных систем.

Ключевые слова: адаптивные методы управления, интеллектуальные транспортные системы, машинное обучение, правила нечеткой логики, генетические алгоритмы, дорожная инфраструктура, беспроводное взаимодействие автомобилей, мультиагентный подход, сигналы светофора, состояние перекрестка

Введение. Наблюдаемое в течение суток изменение интенсивности транспортных потоков требует соответствующего изменения параметров управления дорожным движением, таких как длительность цикла и время разрешающих сигналов. В противном случае управление движением будет неэффективным и задержка транспортных средств неоправданно возрастет. Многопрограммное жесткое управление частично решает эту проблему, однако не является в полной мере оптимальным, т.к. не способно учитывать кратковременные случайные колебания в числе автомобилей, подходящих к перекрестку. Адаптивное управление, за счет наличия обратной связи с транспортным потоком, позволяет учитывать, как суточные изменения интенсивности, так и ее колебания в связи со случайным прибытием транспортных средств. Системы, основанные на адаптивном управлении, существуют на протяжении последних десятков лет, и их применение как в мегаполисах, так и в менее крупных городах, доказало свою эффективность. Однако современное развитие информационных технологий и интеллектуальных транспортных систем (ИТС) позволяет создавать качественно новые методы управления транспортными потоками. Системы управления движением нового поколения становятся неотъемлемой частью комплексных систем «Умного города», а их разработка направлена на повышение удобства, эффективности и безопасности использования транспорта.

Современные адаптивные системы управления движением. Первые попытки создания систем адаптивного регулирования относятся к концу второго десятилетия XX в. В 1928 г. в Нью-Йорке было введено в действие первое автоматическое устройство регулирования дорожного движения, оборудованное датчиками педального типа для регистрации транспортных средств [1]. На сегодняшний день существуют десятки различных реализаций адаптивных систем управления транспортом [2], а наиболее распространенными являются SCOOT и SCATS [3]. Несмотря на большое число реализаций адаптивных систем, алгоритмы, на которых основана их работа, можно разделить на три группы: алгоритмы, предусматривающие переключение сигналов светофора по информации о состоянии перекрестка в данном цикле регулирования; алгоритмы статистической оптимизации, позволяющие по информации о состоянии перекрестка в данный момент определить параметры управления на следующий момент времени на основе вероятностного прогнозирования этого состояния; алгоритмы случайного поиска, при которых параметры управления изменяются случайно с одновременным анализом критерия эффективности, а оптимальным считается управление, при котором достигается максимум или минимум критерия эффективности. Современные достижения в области ИТС позволяют значительно расширить текущие возможности адаптивного управления транспортом и создать более совершенные системы.

Интеллектуальные транспортные системы. Интеллектуальная транспортная система (ИТС) - это интеллектуальная система, использующая продвинутые сенсоры, электронику, компьютерные и коммуникационные технологии, инновационные стратегии управления, предоставляющая конечным потребителям большую информативность и безопасность, а также качественно повышающая уровень взаимодействия участников движения по сравнению с обычными транспортными системами.

Последние несколько десятилетий электроника стала одним из основных компонентов в автомобиле, составляя до трети его стоимости. Первое поколение автомобильной электроники использовалось для решения узкого набора задач, например, антиблокировочная система (ABS). В современном автомобиле электроника контролирует практически каждое действие, стараясь повысить безопасность и комфортность поездки, уменьшить потребление топлива. Следующий, только начинающий развиваться, этап заключается в более широком распространении и эксплуатации беспроводных телекоммуникаций. Далее приведены основные типы беспроводных автомобильных сетей. Сети наиболее короткого радиуса используются для организации обмена данными между устройствами внутри автомобиля. Типичное применение для них - это беспроводная связь между смартфоном водителя и системами автомобиля. Взаимодействие V2V включает обмен данными с проходящими рядом автомобилями, поддержку связи с автомобилями, движущимися по одному маршруту, а также аварийное вещание автомобилям, находящимся неподалеку. Взаимодействие V2I использует придорожную инфраструктуру для обмена данными и сетевого взаимодействия с автомобилями. Также автомобиль может иметь прямое подключение к интернету через сотовую сеть. Объединение этих различных типов сетевых взаимодействий в единую инфраструктуру является одной из главных целей в ближайшем будущем в этой области.

Первые примитивные эксперименты с сетевым автомобильным взаимодействием проводились еще в 1989 году [4]. Более систематические исследования в этой области начались в 2000-х. Вскоре выяснилось, что существующие технологии Wi-Fi не соответствуют поставленным задачам. Для решения этих проблем было создано новое дополнение к стандарту Wi-Fi - IEEE 802.11p [5]. Новый протокол базируется на технологии DSRC (Dedicated short range communication), служащей для взаимодействия на коротких дистанциях. Технология следующего поколения называется WAVE (Wireless Access to Vehicular Environment) и предоставляет высокоскоростную передачу данных [6]. Она позволяет обмен данными в радиусе 1000м между объектами, движущимися со скоростью до 110 км/ч на частоте 10 или 20 МГц. Сервисы, разработанные на данный момент, включают системы кооперативного оповещения о столкновениях, системы детектирования столкновений, кооперативные системы безопасности перекрестков, оповещение о приближении автомобилей экстренных служб или областей с дорожными работами и др. [7].

Еще одно важное направление в ИТС - это предсказание заторов. Идентификация и прогнозирование дорожных пробок может быть использовано как водителями, стремящимися избежать заторов, так и системами управления движением для принятия мер по их предотвращению. Последние несколько десятилетий наиболее широко распространенные техники дорожного прогнозирования основывались на фильтре Калмана и интегрированной модели авторегрессии скользящего среднего (ARIMA) [8]. В настоящее время большое внимание уделяется методам, способным выполнять прогнозирование на основе нескольких признаков, включающих дорожный поток, степень занятости дороги, скорости. К таким алгоритмам относятся метод опорных векторов (SVM) [9], нейронные сети (NN) [10], системы, основанные на правилах нечеткой логики (FRBS) [11,12], генетические алгоритмы (GA) [13]. Наиболее эффективные методы на сегодняшний день могут предсказать возникновение затора на период от 5 до 30 минут с точностью в 95%.

Последнее десятилетие характеризуется активным развитием в области автономных и беспилотных автомобилей. Этому свидетельствуют следующие проекты: VIAC (2007-10), SPITS (2008-11), HAVEit (2008-11) [14], Cybercars-2 and CityMobil (2005-08 и 2008-11) [15], соревнование GCDC (2009-11), e-Safety (2002-13), соревнования DARPA [16] и Google Driverless Car. На сегодняшний день выделяют пять уровней автономности для автомобилей: отсутствие автономности, когда водитель имеет полный контроль над автомобилями без каких-либо предостережений или ассистирования; наличие систем содействия, когда водитель все еще имеет полный контроль, но имеются системы поддержки сигналами или звуком, например, во время маневра смены полосы; полуавтоматизированные автомобили, когда частичное управление в определенных ситуациях или условиях может быть делегировано системе, например, адаптивный круиз контроль, ассистирование при парковке; высокоавтоматизированные автомобили, когда система содействия берет на себя основные задачи по управлению, но при необходимости управление все еще может быть передано водителю; полностью автоматизированные автомобили, когда автомобиль является полностью автономным, даже в сложных ситуациях.

Работа над продвинутыми системами содействия водителю (ПССВ) ведется в таких направлениях как системы ассистирования при смене полосы, системы безопасности пешеходов, системы предупреждения и предотвращения столкновений, системы адаптивного управления светом фар, системы ассистирования при парковке, системы

ночного видения, системы круиз-контроля, системы внутреннего наблюдения, позволяющие детектировать сонное состояние водителя и предупредить об опасной ситуации [17]. Следующий шаг - создание кооперативных систем адаптивного круиз-контроля, основывающихся на V2V взаимодействии, систем распознавания дорожных знаков и сигналов светофора, систем, использующих информацию от цифровых карт, например, для выбора подходящей скорости перед крутым поворотом. Развитие ПССВ будет влиять на требования к безопасности автомобилей и со временем использование таких систем станет обязательным, делая машины более автономными.

За последние годы в ИТС появилось множество разнообразных технологий, способных кардинально изменить наши представления о транспорте. В частности, большие изменения могут произойти в сфере организации дорожного движения. В следующем разделе будут описаны новые алгоритмы управления перекрестком, использующие мультиагентный подход, основанные на использовании V2I и V2V взаимодействий, а также применении автономных автомобилей.

Мультиагентные системы на транспорте. Мультиагентные системы (МАС) - это системы, состоящие из автономных интеллектуальных агентов, взаимодействующих друг с другом, и пассивной среды, в которой агенты существуют и на которую также могут влиять. Каждый агент имеет свои представления о внешнем мире, текущее состояние, цели и логику, определяющие его поведение. Также агент может общаться с другими агентами в процессе работы. Деятельность агента заключается в сборе и обработке информации, принятии решения и соответствующем ему воздействии на среду (рис.1).

Под агентом понимается программно- или аппаратно-реализованная система, которая обладает такими свойствами: автономность, общественное поведение, реактивность и про-активность.

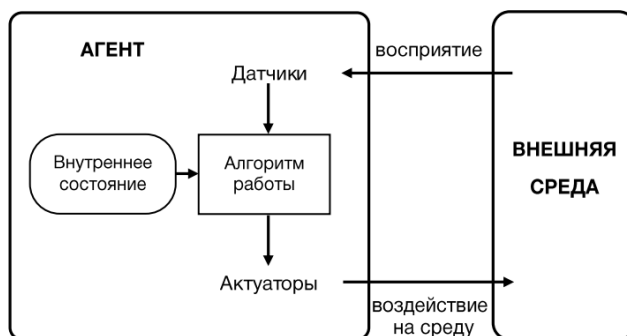


Рис. 1. Схема работы агента

Идея использования МАС для автономных автомобилей не нова. Например, в складских и заводских помещениях автоматически управляемые транспортные средства используются уже давно и МАС нашли здесь широкое применение, показав хорошие результаты [18,19].

Применение МАС для управления перекрестком стало возможным благодаря развитию V2I и V2V коммуникаций. Перекресток снабжается устройством-контроллером, реализующим алгоритм управления фазами светофора (Рис. 2). В случае

с автономными автомобилями светофор может просто выполнять дублирующую функцию, т.к. основные команды могут передавать через V2I взаимодействие. Контроллер имеет определенный радиус действия, появляясь в котором автомобиль передает информацию о своем положении, скорости и направлении движения. Контроллер собирает эту информацию со всех автомобилей и на основе полученных данных выполняет планирование фаз. При необходимости автомобилям отправляются команды, позволяющие им скорректировать свои действия.

Предлагаемые алгоритмы работы контроллера могут значительно отличаться от системы к системе. Некоторые ориентированы на совершенствование планирования фаз светофора за счет наличия более полной информации о транспортных потоках [20,21], другие занимаются контролем траекторий автомобилей для более эффективного и безопасного проезда перекрестка [22,23], третьи предлагают отказаться от светофорного регулирования и активно использовать возможности беспроводного взаимодействия через передачу сообщений [24]. Качество предлагаемых алгоритмов оценивается через имитационное моделирование, которое показывает значительное повышение эффективности перекрестка по сравнению с классическим светофорным регулированием. Кроме задач управления изолированным перекрестком, МАС могут быть применены в системах для централизованного управления движением во всем городе, которые занимаются формированием маршрутов, планированием времени поездок и координацией отдельных светофорных объектов с целью избегания возникновения заторов [25].

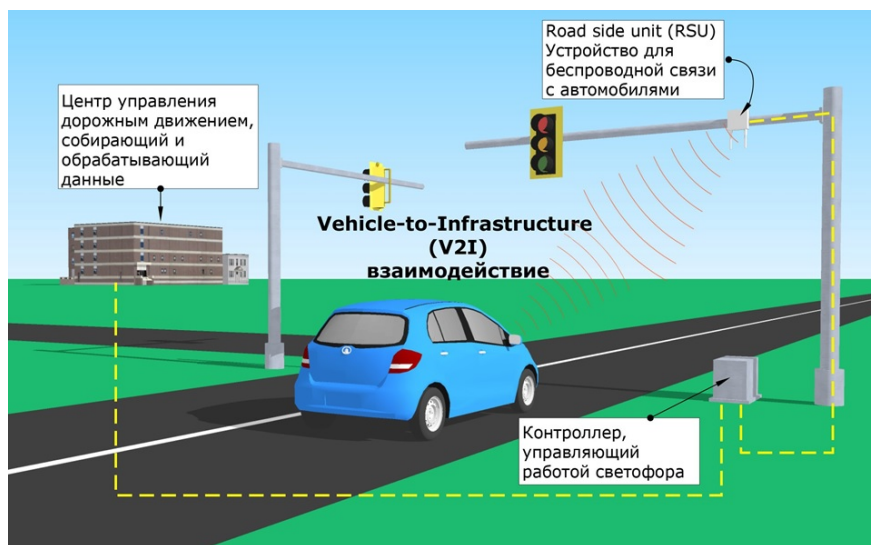


Рис. 2. Применение V2I взаимодействия для управления перекрестком

Заключение. Большинство существующих методов адаптивного управления транспортом основываются на технологиях, доступных уже несколько десятилетий. В статье представлен ряд технологий, таких как устройства, обеспечивающие беспроводные высокоскоростные телекоммуникации с автомобилями, и продвинутое

системы содействия водителю, появление и распространение которых приведет к созданию нового поколения адаптивных систем управления транспортом. Также описывается мультиагентный подход, являющийся подходящей моделью для представления новых транспортных систем, элементы которых становятся все более автономными, интеллектуальными и способными к взаимодействию друг с другом. Представлен ряд алгоритмов, предлагающих использовать преимущества ИТС для повышения эффективности работы перекрестков и транспортной сети в целом. Адаптивные системы нового поколения, способные собирать детальное описание транспортных потоков, включая информацию о маршруте, скорости и положении отдельных автомобилей, и имеющие возможность передавать этим автомобилям индивидуальные команды, позволят транспортным системам городов справляться с постоянным ростом числа автомобилей и объемов перевозок, наблюдающимся по всему миру.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кременец Ю.А.* Технические средства организации дорожного движения / Кременец Ю.А., Печерский М.П., Афанасьев М.Б. – М.: ИКЦ "Академкнига", 2005. – 279 с.
2. *Aavani P.* A review on adaptive traffic controls systems / Aavani P., Mithun K. S., Sneha S. // *International Journal of Latest Engineering and Management Research*. – 2017. – Vol. 2(1). – P. 52-57.
3. *Stevanovic A.* Adaptive Traffic Control Systems: Domestic and Foreign State of Practice / Stevanovic A. // *A Synthesis of Highway Practice*. NCHRP Synthesis 403. – 2010. – 114 p.
4. *Perallos A.* Intelligent transport systems: technologies and applications / Perallos A., Hernandez-Jayo U., Onieva E., et al. – John Wiley & Sons, 2016 – 368 p.
5. *Hiertz G.R.* The IEEE 802.11 Universe / Hiertz G.R., Denteneer D., Stibor L., et al. // *IEEE Communications Magazine*. – 2010. – Vol. 48(1). – P. 62-70.
6. *Dar K.* Wireless communication technologies for ITS applications / Dar K., Bakhouya M., Gaber J., et al. // *IEEE Communications Magazine*. – 2010. – Vol. 48(5). – P. 156-162.
7. *Martinez F.J.* Emergency services in future intelligent transportation systems based on vehicular communication networks / Martinez F.J., Toh C.K., Cano J.C., et al. // *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*. – 2010. – Vol. 2(2). – P. 6-20.
8. *Williams B.M.* Modeling and forecasting vehicular traffic flow as a seasonal ARIMA process: Theoretical basis and empirical results / Williams, B.M., Hoel, L.A. // *Journal of Transportation Engineering*. – 2003. – Vol. 129(6). – P. 664-672.
9. *Wu C.-H.* Travel-time prediction with support vector regression / Wu C.-H., Ho J.-M., Lee D. // *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. – 2004. – Vol. 5(4). – P. 276-281.
10. *Chan K.* Neural-network-based models for short-term traffic flow forecasting using a hybrid exponential smoothing and Levenberg–Marquardt algorithm / Chan K., Dillon T., Singh J. // *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. – 2012. – Vol. 13(2). – P. 644-654.
11. *Dimitriou L.* Adaptive hybrid fuzzy rule-based system approach for modeling and predicting urban traffic flow / Dimitriou L., Tsekeris T., Stathopoulos A. // *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. – 2008. – Vol. 16(5). – P. 554-573.

12. *Zhang Y.* Short-term traffic flow forecasting using fuzzy logic system methods / Zhang Y., Ye Z. // Journal of Intelligent Transportation Systems. – 2008. – Vol. 12(3). – P. 102–112.
13. *Vlahogianni E.I.* Optimized and meta-optimized neural networks for short-term traffic flow prediction: A genetic approach / Vlahogianni E.I., Karlaftis M.G., Golias J.C. // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. – 2005. – Vol. 13(3). – P. 211–234.
14. *Flemisch F.* Towards Highly Automated Driving: Intermediate report on the HAVEit-Joint System / Flemisch F., Nashashibi F., Rauch N., et al. // 3rd European Road Transport Research Arena – 2010. – P. 1–12.
15. *Toffetti A.* CityMobil: Human Factors issues regarding highly-automated vehicles on an eLane / Toffetti A., Wilschut E., Martens M., et al. // Paper presented at the Transportation Research Board, New York. – 2009. – Vol. 2110. – P. 1-8.
16. *Buehler M.* The DARPA Urban Challenge: Autonomous Vehicles in City Traffic / Buehler M., Iagnemma K., Singh S. // Springer Tracts in Advanced Robotics. – 2010. – Vol. 56. – P. 441–508.
17. *Wees K.* (2005) Product liability for ADAS; legal and human factors perspectives / Wees K., Brookhuis K. // European Journal of Transport and Infrastructure Research. – 2005. – Vol. 5(4). – P. 357–372.
18. *Farahvash P.* A multi-agent architecture for control of AGV systems / Farahvash P., Boucher T. O. // Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. – 2004. – Vol. 20(6). – P. 473–483.
19. *Erol R.* A multi-agent based approach to dynamic scheduling of machines and automated guided vehicles in manufacturing systems / Erol R., Sahina C., Baykasoglu A., Kaplanoglu V. // Applied Software Computing. – 2012. – Vol. 12(6). – P. 1720–1732.
20. *Fei Y.* New vehicle sequencing algorithms with vehicular infrastructure integration for an isolated intersection / Fei Y., Dridi M., El-Moudni A. // Telecommunication Systems. – 2012. – Vol 50(4). – P. 325–337.
21. *Войцехович О.Ю.* Стратегия оптимизации движения автомобилей по магистрали города с использованием бинарного дерева решений / Войцехович О.Ю., Шуть В.Н. // Информационные технологии и системы 2011 (ИТС 2011) : материалы международной научной конференции – Минск: БГУИР, 2011. – С. 187–188.
22. *Li Z.* Signal control optimization for automated vehicles at isolated signalized intersections / Li Z., Eleftheriadou L., Ranka S. // Transportation Research Part C Emerging Technologies. – 2014. – Vol. 49. – P. 1–18.
23. *Wuthishuwong C.* Vehicle to infrastructure based safe trajectory planning for Autonomous Intersection Management / Wuthishuwong C., Traechtler A. // In Proceedings of IEEE International Conference on ITS Telecommunications. – 2013. – P. 175–180.
24. *Dresner K.* A Multiagent Approach to Autonomous Intersection Management / Dresner K., Stone P. // Journal of Artificial Intelligence Research. – 2008. – Vol. 31. – P. 591–656.
25. *Климович А.Н., Рыщук А.С., Шуть В.Н.* Современные подходы и алгоритмы управления транспортными потоками // Вестник Херсонского национального технического университета №3. – Херсон, 2015. – С. 252–256.

Стаття: надійшла до редакції 30.11.2017,
доопрацьована 06.02.2018,
прийнята до друку 12.02.2017.

MAJOR TRENDS IN DEVELOPMENT OF ADAPTIVE METHODS OF MANAGEMENT OF TRANSPORT FLOWS

A. Klimovich, V. Shuts

*Brest State Technical University,
Moscow str., 267, Brest, 224017, Belarus
lucking@mail.ru*

Adaptive algorithms, which current traffic systems are based on, exist for many decades. Information technologies have developed significantly over this period and it makes more relevant their application in the field of transport. This paper analyses modern trends in the development of adaptive traffic flow control methods. Reviewed the most perspective directions in the field of intelligent transport systems, such as high-speed wireless communication between vehicles and road infrastructure based on such technologies as DSRC and WAVE, traffic jams prediction having such features as traffic flow information, congestion, velocity of vehicles using machine learning, fuzzy logic rules and genetic algorithms, application of driver assistance systems to increase vehicle's autonomy. Advantages of such technologies in safety, efficiency and usability of transport are shown. Described multi-agent approach, which uses V2I-communication between vehicles and intersection controller to improve efficiency of control due to more complete traffic flow information and possibility to give orders to separate vehicles. Presented number of algorithms which use such approach to create new generation of adaptive transport systems.

The change in the intensity of traffic flows observed during the day requires a corresponding change in traffic management parameters, such as cycle times and time of the enabling signals. Adaptive control, due to the presence of feedback from the traffic flow, allows you to take into account both daily changes in intensity and its fluctuations due to the random arrival of vehicles. Systems based on adaptive management have been in place for the last decades, and their application in both Metropolitan areas and smaller cities has proven to be effective. However, the modern development of information technologies and intelligent transport systems (its) allows to create qualitatively new methods of traffic management aimed at improving the convenience, efficiency and safety of transport.

Today, there are dozens of different implementations of adaptive transport management systems, and the most common are SCOOT and SCATS. Modern achievements in the field of its can significantly expand the current capabilities of adaptive transport management and create more advanced systems through the use of advanced sensors, electronics, computer and communication technologies, innovative management strategies.

One of the important directions of its development is the use of wireless telecommunications. Research conducted in this area in the 2000s showed that the existing Wi-Fi technology does not meet the objectives. To solve these problems, a new addition to the Wi-Fi standard - IEEE 802.11p was created. The new Protocol is based on the technology of DSRC (Dedicated short range communication), which serves for short-range communication. The next generation technology is called WAVE (Wireless Access to Vehicular Environment) and provides high-speed data transmission. The shortest-range wireless networks are used for data exchange between devices inside the car, for example, for communication between the driver's smartphone and the car's systems. V2V communication includes the exchange of data with vehicles passing near or moving on the same route, as well as emergency broadcasting to vehicles located nearby. V2i connectivity uses the roadside infrastructure for data exchange and network connectivity with vehicles. Also, the car can have a direct Internet connection via a cellular network. The services developed at this point include a cooperative alert system, collision system for the detection of collisions, a

cooperative security system intersections, warning of the approach of emergency vehicles, or areas with road work.

Another direction in its is the prediction of congestion. In the last few decades, the most common road forecasting techniques have been based on the Kalman filter and the integrated moving average autoregression (ARIMA) model. Currently, much attention is paid to methods that can perform forecasting based on several features, including traffic flow, degree of road occupancy, speed. Such algorithms include support vector machines (SVM), neural network (NN) system based on the rules of fuzzy logic (FRBS), genetic algorithms (GA). The most effective methods to date can predict the occurrence of congestion for a period of 5 to 30 minutes with an accuracy of 95%.

The last decade is characterized by active development in the field of Autonomous and unmanned vehicles. This is demonstrated through the following projects: VIAC (2007-10), HAVEit (2008-11), Cybercars-2 and CityMobil (2005-08 and 2008-11) [13], the GDC competition (2009-11), e-Safety (2002-13), the DARPA competition and Google's Driverless Car. Work on advanced systems assist the driver (PSV) is conducted in such areas as an assistance system when changing lanes, security systems pedestrian warning system and collision mitigation, adaptive light control headlights, an assistance system when Parking, night vision system cruise control system of internal monitoring, allowing to detect the sleepy state of the driver and to warn about dangerous situations. The next step is the creation of cooperative adaptive cruise control systems based on V2V interaction, traffic sign and traffic light recognition systems, systems that use information from digital maps, for example, to select the appropriate speed before a steep turn. The development of the PRSP will affect the safety requirements of vehicles and over time the use of such systems will become mandatory, making the machines more Autonomous.

Multi-agent systems (MAS) are systems consisting of Autonomous intelligent agents interacting with each other and a passive environment in which agents exist and can be affected. The use of MACS to control the intersection is made possible by the development of V2i and V2V communications. The transition device is equipped with a controller implementing an algorithm for controlling the phases of the traffic light. In the case of Autonomous vehicles, the traffic light can simply perform a secondary function, since the main commands can transmit through V2i connectivity. The controller has a specific range, appearing in which the car transmits information about its position, speed and direction of movement. The controller collects this information from all vehicles and performs phase planning based on the data received. If necessary, commands are sent to the vehicles so that they can adjust their actions.

The proposed algorithms of the controller can differ significantly from system to system. Some are focused on better planning of traffic light phases by providing more information on traffic flows, others are engaged in monitoring the trajectories of vehicles for more efficient and safe passage of the intersection, others suggest to abandon the regulation of traffic light and actively use the possibilities of wireless communication through the transmission of messages. The quality of the proposed algorithms is evaluated by simulation, which shows a significant increase in the efficiency of the intersection in comparison with the classical traffic light control. In addition to the tasks of managing an isolated intersection, the MAC can be used in centralized traffic management systems throughout the city, which are engaged in the formation of routes, planning of traffic time and coordination of individual traffic light objects in order to avoid congestion.

Most of the existing methods of adaptive transport management are based on technologies available for several decades. The article presents a number of technologies, such as devices that provide wireless high-speed telecommunications with cars, and advanced driver assistance systems, the emergence and spread of which will lead to the creation of a new generation of adaptive transport management systems. Such systems will be able to collect detailed descriptions of traffic flows, including information on the route, speed and position of individual vehicles, and be able to transmit individual commands to these vehicles, allowing urban transport systems to

cope with the constant growth in the number of vehicles and traffic volumes observed around the world.

Key words: adaptive control methods, intelligent transport systems, machine learning, fuzzy logic rules, genetic algorithms, road infrastructure, wireless vehicle interaction, multi-agent approach, traffic lights, intersection

ОСНОВНІ ТЕНДЕНЦІЇ У РОЗВИТКУ АДАПТИВНИХ МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМИ ПОТОКАМИ

А. Климович, В. Шуть

*Брестський державний технічний університет,
вул. Московська 267, м. Брест, 224017, Білорусь
lucking@mail.ru*

Зміна інтенсивності транспортних потоків, що спостерігається впродовж дня, вимагає відповідної зміни параметрів керування трафіком, таких як час циклу та час активації сигналів. Адаптивний контроль, завдяки наявності зворотного зв'язку з потоком трафіку, дозволяє враховувати як щоденні зміни інтенсивності, так і його коливання через випадкове прибуття транспортних засобів. Системи, що базуються на адаптивному менеджменті, вже існують протягом останніх десятиліть і їх застосування у великих та менших містах виявилось ефективним. Однак сучасний розвиток інформаційних технологій та інтелектуальних транспортних систем дозволяє створювати якісно нові методи управління рухом, спрямовані на підвищення зручності, ефективності та безпеки транспорту.

У статті аналізуються тенденції розвитку адаптивних методів управління транспортними потоками. Виконано огляд найбільш перспективних напрямків у сфері інтелектуальних транспортних систем, таких як високошвидкісна бездротова взаємодія автомобілів один з одним і з дорожньою інфраструктурою на основі технологій DSRC та WAVE, прогнозування заторів за допомогою машинного навчання, правил нечіткої логіки та генетичних алгоритмів, впровадження систем сприяння водієві для підвищення автономності транспортних засобів. Наведено переваги, що надаються цими технологіями, для підвищення безпеки, ефективності та зручності використання транспорту. Описано мультиагентний підхід і представлений ряд алгоритмів, що використовують його для створення нового покоління адаптивних транспортних систем. Описаний підхід, який використовує V2I-зв'язок між транспортними засобами та контролером перехресття для підвищення ефективності управління завдяки більш повній інформації про транспортний потік та можливістю віддавати розпорядження окремим транспортним засобам. Представлено низка алгоритмів, які використовують такий підхід для створення нового покоління адаптивних транспортних систем.

Ключові слова: адаптивні методи управління, інтелектуальні транспортні системи, машинне навчання, правила нечіткої логіки, генетичні алгоритми, дорожня інфраструктура, бездротове взаємодія транспортних засобів, мультиагентний підхід, світлофори, перехресття.